# 饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮对绵羊组织中脂肪酸组成及含量的影响

史晓雪[1]　牛占宇[1]　幸　超[1]　张三润[2]　闫婉姝[1]　张润厚[1*]

（1.内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018；2.内蒙古医科大学基础教研部，呼和浩特 010110)

摘　要：本研究旨在探讨饲粮中添加硬脂酰辅酶 A 去饱和酶（Stearoyl-CoA desaturase，SCD）的抑制剂（梧桐籽油）和促进剂（罗格列酮）对绵羊背最长肌及皮下脂肪中脂肪酸组成及含量的影响。选用 18 只平均体重为(27.71±2.64) kg、生理状况相似的杂交公羊（美利奴♂×小尾寒羊♀）随机分为 3 组，每组 6 只。对照组（C 组）饲喂基础饲粮+4.8%胡麻籽，梧桐籽油组（W 组）饲喂 C 组饲粮+15g/d 梧桐籽油，罗格列酮组（L 组）饲喂 C 组饲粮+8 mg/d 罗格列酮。试验期 50 d，其中过渡期 10 d，预试期 5 d，正试期 35 d。结果表明：1）与 C 组相比，W 组背最长肌中反-11 油酸（*trans*-11 C18:1）、反-9，12 亚油酸（*trans*-9,12 C18:2）的含量显著增加（$P$<0.05），亚麻酸（C18:3）(n-6)含量显著降低（$P$<0.05），皮下脂肪中花生烯酸(C20:1)含量显著升高（$P$<0.05），其他脂肪酸含量没有显著变化（$P$>0.05）；2)与 C 组相比，L 组背最长肌中 *trans*-11 C18:1、*trans*-9,12 C18:2、顺-9,反-11 共轭亚油酸(*cis*-9，*trans*-11 CLA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)含量和 PUFA/饱和脂肪酸（SFA）显著增加（$P$<0.05），C18:3(n-6)和 SFA 的含量显著降低（$P$<0.05），皮下脂肪中癸酸（C10:0）、顺-9 油酸（*cis*-9 C18:1）和花生三烯酸（C20:3）(n-3)含量显著升高（$P$<0.05）。结果提示，饲粮中添加梧桐籽油增加了绵羊背最长肌中 *trans*-11 C18:1、*trans*-9,12 C18:2 的含量，降低了 C18:3(n-6)的含量，增加了皮下脂肪中 C20:1 的含量；饲粮中添加罗格列酮增加了绵羊背最长肌中 *trans*-11 C18:1、*trans*-9,12 C18:2 和 ***cis*-9，trans-11 CLA** 的含量，降低了 C18:3(n-6)的含量，增加了皮下脂肪中 C10:0、*cis*-9 C18:1 和 C20:3(n-3)的含量。

关键词：梧桐子油；罗格列酮；硬脂酰辅酶 A 去饱和酶；脂肪酸；绵羊

中图分类号：S826

近年来，我国特别是内蒙古等边疆少数民族地区肉羊业迅速发展，羊肉在肉类消费中的

---

收稿日期：2017-11-22

基金项目：国家自然科学基金项目（31360560）

作者简介：史晓雪（1994—），女，河北邢台人，硕士研究生，从事反刍动物营养学研究。E-mail： shixiaoxue1994@163.com

*通信作者：张润厚，教授，硕士生导师，E-mail: runhouzhang@hotmail.com

比重不断增加。但是，羊肉中脂肪含量较高，且40%的脂肪为饱和性脂肪，而饱和性脂肪与肥胖症、高血压、冠心病及各种癌症有关。研究发现，共轭亚油酸（CLA）具有抗肿瘤、抗动脉粥样硬化、预防糖尿病、调节免疫系统、预防肥胖症和促进骨骼发育与健康等许多对人体有益的生物学功能[1]。因此，降低羊肉的饱和性脂肪含量，增加脂肪中CLA等功能性脂肪酸的比例，对于促进消费者健康具有重要意义。近些年有研究表明，乳脂中64%~78%的CLA是由反式油酸（TVA）经硬脂酰辅酶A去饱和酶（stearoyl-CoA desaturase，SCD）脱氢生成的[2]，牛肉中86%的CLA是由TVA经SCD脱氢生成的[3]。也有研究表明，人体可以利用TVA合成CLA[4]。目前，关于CLA的内源生成途径在其他动物中研究较多，而在绵羊中研究较少。所以本试验将通过在绵羊饲粮中添加SCD的抑制剂（梧桐籽油）及促进剂（罗格列酮），分析其对绵羊背最长肌和皮下脂肪中脂肪酸的组成及含量的影响，来探讨CLA等功能性脂肪酸在绵羊组织中的内源合成机理，为生产富含CLA等功能性脂肪酸的羊肉提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验在优牧特公司土左旗内蒙古农业大学养殖基地进行（2016年11月至2017年1月）。试验动物由优牧特公司所提供，试验动物为4月龄左右、遗传背景一致、平均体重为（27.71±2.64） kg、健康状况良好的杂交公羊（美利奴♂×小尾寒羊♀）18只。试验期间所用的基础饲粮为商品育肥料，由优牧特公司提供。梧桐子油采用亚临界低温萃取法提取，购自于陕西森弗天然制品有限公司（生产批号：SF-2016-10-13-4）。罗格列酮由成都恒瑞制药有限公司生产（生产批号：160902），购买于呼和浩特市国大药房。

### 1.2 试验设计及饲粮

本试验按完全随机分组方式进行设计，将18只绵羊随机分成3组：对照组（C组）、梧桐籽油组（W组）、罗格列酮组（L组），每组6只，实行单栏（2.0 m×1.2 m）饲养。各组饲粮设计如下：1）C组饲喂基础饲粮+4.8%胡麻籽；2）W组饲喂C组饲粮+15 g/d梧桐籽油；3）L组饲喂C组饲粮+8 mg/d罗格列酮。基础饲粮精粗比为60:40。基础饲粮组成及营养水平见表1。基础饲粮脂肪酸组成及含量见表2。

表1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diet （air-dry basis） %

| 项目 Items | 含量 Content |
|---|---|
| 原料 Ingredients | |
| 玉米 Corn | 32.00 |
| 玉米胚芽粕 Corn germ meal | 8.00 |
| 葵花壳 Sunflower shell | 16.00 |
| 羊草 *Leymus chinensis* | 24.00 |
| 干酒糟及其可溶物 DDGS | 5.00 |
| 豆粕 Soybean meal | 8.00 |
| 麸皮 Wheat bran | 2.50 |
| 预混料 Premix[1)] | 2.00 |
| 石粉 Stone powder | 1.40 |
| 食盐 NaCl | 0.60 |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 0.50 |
| 合计 Total | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels[2)] | |
| 代谢能 ME/(MJ/kg) | 8.23 |
| 粗蛋白质 CP | 13.26 |
| 粗脂肪 EE | 5.82 |
| 中性洗涤纤维 NDF | 34.23 |
| 酸性洗涤纤维 ADF | 18.90 |
| 钙 Ca | 1.19 |
| 磷 P | 0.41 |

[1)]预混料为每千克饲粮中提供 The premix provided the following per kg of the diets:I(as potassium iodide)55 mg,Mn(as manganese sulfate)1 750 mg,Co (as cobalt chloride)25 mg,Se (as sodium selenite)22.5 mg,Fe (as ferrous sulfate)3 000 mg,Zn (as zinc sul-fate)2 000 mg,VA 400 000 IU,VD 30 000 IU,VE 3 000 IU。

[2)]粗蛋白质为实测值，其他均为计算值。CP was a measured value, while the others were calculated values.

表 2 基础饲粮、胡麻籽、梧桐籽油中的脂肪酸组成及含量（占总脂肪酸比例）

Table 2 Composition and content of fatty acid of the basal diet, linseed and phoenix tree seed oil （percentage of TFA） %

| 脂肪酸 Fatty acids | 基础饲粮 Basal diet | 胡麻籽 Linseed | 梧桐籽油 Phoenix tree seed oil |
|---|---|---|---|
| 棕榈酸 C16:0 | 0.89 | 2.67 | 6.15 |
| 硬脂酸 C18:0 | 0.13 | 1.68 | 3.96 |
| 油酸 C18:1(n-9) | 1.71 | 9.47 | 22.83 |
| 亚油酸 C18:2(n-6) | 2.95 | 7.27 | 27.81 |
| 亚麻酸 C18:3(n-3) | 0.13 | 27.13 | 7.53 |

## 1.3 饲养管理

试验开始前对羊舍及周边环境用聚维酮碘喷洒消毒，试验用具进行严格的清洗消毒。所有试验羊在试验开始前统一进行驱虫、注射疫苗。试验羊每天在 07：00 和 17：00 进行饲喂，自由饮水。试验期为 50 d，包括过渡期 10 d，预试期 5 d，正试期 35 d。W 组的梧桐子油与饲粮充分混匀后进行饲喂；L 组的罗格列酮于饲喂前进行投放（口服）。

1.4　样品采集及处理

饲养试验结束后，将所有试验羊拉到附近的屠宰场进行屠宰，屠宰前绵羊禁食 12 h，自由饮水。绵羊宰杀放血后，采集背最长肌和皮下脂肪样品各 100 g 左右，迅速置于液氮中冷冻，待转移回实验室后于-20 ℃下保存，用于组织中脂肪酸组成及含量的测定。

1.5　测定指标及方法

1.5.1　基础饲粮中脂肪酸的组成及含量分析方法

准确称取 0.5 g 饲料样品放置于耐高温试管（带聚四氟乙烯材料的盖子）中；在饲料样品中准确加入 1 mL 无水甲醇和 1 mL 2%氢氧化钠甲醇(将 2 g 氢氧化钠溶于 100 mL 含水不超过 0.5%的甲醇中，混匀，该溶液应现用现配)和 0.5 mL 正己烷，旋紧盖子 50 ℃水浴 15 min，取出冷却后加入 4 mL 10%盐酸甲醇（10 mL 乙酰氯慢慢加入到 100 mL 无水甲醇中，混匀），旋紧盖子于 90 ℃下水浴 2 h，中间要防止漏气，并且水浴过程中要轻微摇晃试管；水浴完毕后，取出冷却到室温，加入 2 mL 正己烷和 15 mL 蒸馏水，混匀，静置 10 min；转移有机层于事先准备好的干净的 10 mL 容量瓶中，静置 5 min，再加入 1 g 的无水硫酸钠进行干燥；最后吸取有机层进行气相色谱仪分析。

1.5.2　梧桐子油中脂肪酸的组成及含量分析方法

准确吸取 200 μL 的梧桐子油放入 10 mL 试管中；取 2 mL 石油醚:苯=1:1 的溶液于试管中；充分振荡混匀，取 2 mL 0.4 mol/L 氢氧化钾甲醇溶液（精确称取 2.24 g 氢氧化钾固体溶于 100 mL 甲醇中,混匀）于试管中；充分振荡混匀后沿试管壁加入 8 mL 蒸馏水，静置 15 min；最后吸取有机层进行气相色谱仪分析。

1.5.3　背最长肌及皮下脂肪中脂肪酸的组成及含量分析方法

取 100 mg 样品加入到 15 mL 离心管中；加入 2 mL 2%氢氧化钠甲醇溶液，于 85 ℃水浴锅中水浴 30 min；加入 3 mL 14%三氟化硼甲醇溶液，于 85 ℃水浴锅中水浴 30 min；水浴完成后，等温度降到室温，在离心管中加入 1 mL 正己烷，振荡萃取 2 min 之后，静置 1 h，

等待分层；取上层清液 100 μL，用正己烷定容到 1 mL。用 0.45 μm 滤膜过膜后上机测试。

### 1.6 数据分析

试验数据经 Excel 2003 初步整理后，采用 SAS 9.1 统计软件中 one-way ANOVA 进行方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法进行。$P<0.05$ 作为差异显著性的判断标准。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮对绵羊背最长肌中脂肪酸组成及含量的影响

由表 3 可知，各组绵羊背最长肌中单不饱和脂肪酸（MUFA）含量和 n-6/n-3 差异不显著（$P>0.05$），但与 C 组相比，L 组背最长肌中饱和脂肪酸（SFA）的含量显著降低（$P<0.05$），多不饱和脂肪酸(PUFA)含量及 PUFA/SFA 显著增加（$P<0.05$）。与 C 组相比，W 组显著增加了反-11 油酸（*trans*-11 C18:1）、反-9，12 亚油酸（*trans*-9,12 C18:2）的含量（$P<0.05$），降低了亚麻酸（C18:3）(n-6)的含量（$P<0.05$），对其他脂肪酸的含量没有显著影响（$P>0.05$）；L 组显著增加了 *trans*-11 C18:1、*trans*-9,12 C18:2 和顺-9,反-11 共轭亚油酸(*cis*-9，*trans*-11 CLA)的含量，降低了 C18:3(n-6)的含量（$P<0.05$），对其余脂肪酸含量无显著影响（$P>0.05$）。与 W 组相比，L 组显著增加了 *trans*-11 C18:1 和 *cis*-9，*trans*-11 **CLA** 的含量，而显著降低了癸酸（C10:0）的含量（$P<0.05$）。

表 3 饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮对绵羊背最长肌中脂肪酸组成及含量的影响(占总脂肪酸比例)

Table 3 Effects of dietary supplementation of phoenix tree seed oil and rosiglitazone on composition and contents of fatty acids in *Longissimus dorsi* muscle of sheep （percentage of TFA） %

| 项目 Items | 组别 Groups C | W | L | SEM | *P* 值 *P*-value |
|---|---|---|---|---|---|
| 辛酸 C8:0 | 0.017 6 | 0.019 7 | 0.011 5 | 0.002 2 | 0.086 3 |
| 癸酸 C10:0 | 0.109 3$^{ab}$ | 0.146 9$^{a}$ | 0.078 7$^{b}$ | 0.013 3 | 0.025 8 |
| 十一碳酸 C11:0 | 0.001 9 | 0.002 4 | 0.002 0 | 0.000 2 | 0.579 4 |
| 月桂酸 C12:0 | 0.148 5 | 0.199 4 | 0.113 9 | 0.018 4 | 0.068 9 |
| 银杏酸 C13:0 | 0.006 5 | 0.007 2 | 0.006 3 | 0.000 8 | 0.827 6 |
| 肉豆蔻酸 C14:0 | 1.677 2 | 1.941 3 | 1.471 2 | 0.185 4 | 0.270 5 |
| 十五碳酸 C15:0 | 0.184 9 | 0.195 8 | 0.169 6 | 0.013 4 | 0.473 3 |
| 棕榈酸 C16:0 | 29.189 4 | 29.692 0 | 29.454 0 | 0.946 3 | 0.146 7 |
| 棕榈油酸 C16:1 | 1.066 6 | 1.139 5 | 0.891 1 | 0.090 0 | 0.228 0 |
| 十七碳酸 C17:0 | 0.824 2 | 0.813 9 | 0.856 5 | 0.040 7 | 0.130 0 |
| 十七烯酸 C17:1 | 0.320 0 | 0.326 8 | 0.325 4 | 0.029 0 | 0.985 1 |
| 硬脂酸 C18:0 | 16.467 9 | 15.365 0 | 14.746 0 | 0.901 1 | 0.990 9 |
| 顺-9 油酸 *Cis*-9 C18:1 | 22.273 8 | 22.414 0 | 23.844 0 | 1.448 5 | 0.281 8 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 反-9 油酸 *Trans*-9 C18:1 | 3.290 7 | 3.177 9 | 3.043 1 | 0.352 3 | 0.197 0 |
| 反-11 油酸 *Trans*-11 C18:1 | 1.378 7$^{c}$ | 2.865 9$^{b}$ | 4.544 5$^{a}$ | 0.336 2 | 0.003 3 |
| 顺-6 亚油酸 *Cis*-6 C18:2 | 4.801 1 | 4.497 2 | 4.964 5 | 0.292 8 | 0.535 1 |
| 反-9,12 亚油酸 *Trans*-9,12 C18:2 | 0.239 7$^{b}$ | 0.668 2$^{a}$ | 0.594 4$^{a}$ | 0.037 7 | 0.001 0 |
| 顺-9,12 亚油酸 *Cis*-9,12 C18:2 | 7.160 3 | 7.262 0 | 8.144 3 | 0.451 9 | 0.420 3 |
| 顺-9,反-11 共轭亚油酸 *Cis*-9，*trans*-11 CLA | 0.262 4$^{b}$ | 0.319 3$^{b}$ | 0.596 0$^{a}$ | 0.053 7 | 0.043 7 |
| 亚麻酸 C18:3(n-6) | 0.044 8$^{a}$ | 0.031 7$^{b}$ | 0.024 4$^{b}$ | 0.003 2 | 0.009 6 |
| 花生酸 C20:0 | 0.031 9 | 0.030 8 | 0.030 8 | 0.001 8 | 0.912 2 |
| 花生烯酸 C20:1 | 0.022 9 | 0.023 8 | 0.026 5 | 0.002 0 | 0.572 0 |
| 花生二烯酸 C20:2 | 0.027 7 | 0.027 7 | 0.028 9 | 0.003 1 | 0.958 2 |
| 花生三烯酸 C20:3(n-3) | 0.143 6 | 0.108 6 | 0.122 0 | 0.012 5 | 0.312 1 |
| 花生四烯酸 C20:4(n-6) | 0.543 8 | 0.576 2 | 0.566 2 | 0.023 4 | 0.815 1 |
| 花生五烯酸 C20:5(n-3) | 0.582 7 | 0.546 3 | 0.477 0 | 0.044 8 | 0.420 2 |
| 二十一碳酸 C21:0 | 0.003 2 | 0.003 3 | 0.002 7 | 0.000 1 | 0.059 7 |
| 二十二碳酸 C22:0 | 0.008 7 | 0.007 7 | 0.006 2 | 0.000 7 | 0.121 8 |
| 二十二碳烯酸 C22:1(n-9) | 0.001 4 | 0.001 8 | 0.001 9 | 0.000 2 | 0.589 9 |
| 二十二碳六烯酸 C22:6(n-3) | 0.190 5 | 0.163 4 | 0.186 6 | 0.018 6 | 0.673 8 |
| 二十三碳酸 C23:0 | 0.004 6 | 0.005 0 | 0.003 1 | 0.000 5 | 0.063 8 |
| 二十四碳酸 C24:0 | 0.005 9 | 0.005 8 | 0.003 7 | 0.000 6 | 0.099 6 |
| 饱和脂肪酸 SFA | 47.973 0$^{a}$ | 48.336 0$^{a}$ | 45.767 0$^{b}$ | 0.967 9 | 0.025 0 |
| 单不饱和脂肪酸 MUFA | 29.391 0 | 29.462 0 | 30.768 0 | 1.447 0 | 0.754 5 |
| 多不饱和脂肪酸 PUFA | 13.233 3$^{b}$ | 13.596 4$^{b}$ | 15.709 5$^{a}$ | 0.341 5 | 0.001 1 |
| 多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸 PUFA/SFA | 0.261 6$^{b}$ | 0.275 9$^{b}$ | 0.348 6$^{a}$ | 0.016 3 | 0.023 6 |
| n-6/n-3 | 6.479 5 | 5.499 9 | 5.421 7 | 0.483 9 | 0.415 4 |

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，肩标相同或不标注者表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮对绵羊皮下脂肪中脂肪酸组成及含量的影响

由表 4 可知，各组绵羊皮下脂肪中 SFA、MUFA、PUFA 含量及 PUFA/SFA 和 n-6/n-3 的差异均不显著（*P*>0.05）。与 C 组相比，W 组皮下脂肪中花生烯酸(C20:1)含量显著升高（*P*<0.05），L 组皮下脂肪中 C10:0、*cis*-9 C18:1 和花生三烯酸（C20:3）(n-3)含量显著升高（*P*<0.05），其余脂肪酸含量没有显著变化（*P*>0.05）。与 W 组相比，L 组 C10:0、硬脂酸（C18:0）、*cis*-9 C18:1 和 C20:3(n-3)的含量显著增加（*P*<0.05），十一碳酸（C11:0）、银杏酸（C13:0）、十五碳酸（C15:0）和 C20:1 的含量显著降低（*P*<0.05），且在 L 组皮下脂肪中未检测到顺-9,反-11 共轭亚油酸（*cis*-12，*trans*-10 CLA）。

表 4　饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮对绵羊皮下脂肪中脂肪酸组成及含量的影响(占总脂肪酸比例)

Table 4　Effects of dietary supplementation of phoenix tree seed oil and rosiglitazone on composition and contents of fatty acids in subcutaneous fat of sheep （percentage of TFA）　　g / 100g FA

| 项目 | 组别 Groups | | | SEM | *P* 值 |
|---|---|---|---|---|---|
| Items | C | W | L | | *P*-value |
| 辛酸 C8:0 | 0.010 3 | 0.010 5 | 0.010 0 | 0.000 6 | 0.940 1 |
| 癸酸 C10:0 | 0.257 9$^{b}$ | 0.254 0$^{b}$ | 0.365 2$^{a}$ | 0.016 4 | 0.005 3 |
| 十一碳酸 C11:0 | 0.022 5$^{ab}$ | 0.031 8$^{a}$ | 0.014 9$^{b}$ | 0.002 9 | 0.026 4 |
| 月桂酸 C12:0 | 0.422 2 | 0.411 8 | 0.405 7 | 0.050 6 | 0.984 1 |
| 银杏酸 C13:0 | 0.088 6$^{ab}$ | 0.126 5$^{a}$ | 0.045 9$^{b}$ | 0.015 5 | 0.022 0 |
| 肉豆蔻酸 C14:0 | 3.860 6 | 4.104 1 | 4.360 0 | 0.346 0 | 0.631 2 |
| 肉豆蔻烯酸 C14:1 | 0.188 6 | 0.252 3 | 0.203 6 | 0.018 5 | 0.170 4 |
| 十五碳酸 C15:0 | 1.139 9$^{ab}$ | 1.466 9$^{a}$ | 0.866 9$^{b}$ | 0.121 5 | 0.018 2 |
| 棕榈酸 C16:0 | 24.444 0 | 25.141 0 | 26.484 4 | 1.003 5 | 0.108 0 |
| 棕榈油酸 C16:1 | 1.307 5 | 1.377 9 | 1.481 7 | 0.087 8 | 0.392 7 |
| 十七碳酸 C17:0 | 3.115 6 | 3.654 6 | 2.807 8 | 0.282 1 | 0.133 7 |
| 十七烯酸 C17:1 | 0.873 0 | 1.160 8 | 0.688 9 | 0.183 7 | 0.220 3 |
| 硬脂酸 C18:0 | 6.327 3$^{ab}$ | 5.934 1$^{b}$ | 7.629 8$^{a}$ | 0.442 8 | 0.040 1 |
| 顺-9 油酸 *Cis*-9 C18:1 | 30.058 0$^{b}$ | 30.239 0$^{b}$ | 33.213 1$^{a}$ | 1.133 5 | 0.041 9 |
| 反-9 油酸 *Trans*-9 C18:1 | 6.794 3 | 6.024 8 | 6.315 7 | 0.505 7 | 0.568 0 |
| 反-11 油酸 *Trans*-11 C18:1 | 4.227 5 | 4.401 9 | 4.087 5 | 0.302 3 | 0.896 1 |
| 顺-6 亚油酸 *Cis*-6 C18:2 | 3.910 8 | 4.448 8 | 4.509 9 | 0.277 5 | 0.274 4 |
| 反-9,12 亚油酸 *Trans*-9,12 C18:2 | 0.706 3 | 0.898 7 | 0.846 6 | 0.070 0 | 0.304 5 |
| 顺-9,12 亚油酸 *Cis*-9,12 C18:2 | 4.561 0 | 4.500 8 | 3.219 6 | 0.291 7 | 0.274 6 |
| 顺-9,反-11 共轭亚油酸 *Cis*-9，*trans*-11 CLA | 1.276 8 | 1.387 1 | 1.281 8 | 0.068 5 | 0.676 5 |
| 顺-9,反-11 共轭亚油酸 *Cis*-12，*trans*-10 CLA | 0.116 9 | 0.128 5 | 0.000 0 | 0.004 4 | <0.000 1 |
| 亚麻酸 C18:3(n-6) | 0.028 1 | 0.025 9 | 0.031 0 | 0.003 7 | 0.729 8 |
| 花生酸 C20:0 | 0.029 3 | 0.031 4 | 0.031 3 | 0.002 6 | 0.859 7 |
| 花生烯酸 C20:1 | 0.024 2$^{b}$ | 0.031 2$^{a}$ | 0.023 8$^{b}$ | 0.001 3 | 0.005 9 |
| 花生二烯酸 C20:2 | 0.016 1 | 0.019 2 | 0.018 6 | 0.001 8 | 0.538 4 |
| 花生三烯酸 C20:3(n-3) | 0.013 8$^{b}$ | 0.012 6$^{b}$ | 0.016 3$^{a}$ | 0.000 6 | 0.031 1 |
| 花生四烯酸 C20:4(n-6) | 0.084 9 | 0.069 1 | 0.089 0 | 0.010 2 | 0.548 7 |
| 花生五烯酸 C20:5(n-3) | 0.249 6 | 0.234 6 | 0.292 8 | 0.025 0 | 0.328 9 |
| 二十一碳酸 C21:0 | 0.000 9 | 0.001 1 | 0.001 1 | 0.000 1 | 0.529 6 |
| 二十二碳酸 C22:0 | 0.001 2 | 0.001 2 | 0.001 6 | 0.000 1 | 0.273 5 |
| 二十二碳烯酸 C22:1(n-9) | 0.001 2 | 0.001 6 | 0.001 4 | 0.000 2 | 0.413 4 |
| 二十二碳六烯酸 C22:6(n-3) | 0.274 7 | 0.343 2 | 0.374 3 | 0.045 7 | 0.467 8 |
| 二十三碳酸 C23:0 | 0.000 4 | 0.000 4 | 0.000 4 | <0.000 1 | 0.841 6 |
| 二十四碳酸 C24:0 | 0.000 4 | 0.000 4 | 0.000 4 | <0.000 1 | 0.599 1 |
| 饱和脂肪酸 SFA | 40.813 0 | 41.220 0 | 43.117 0 | 1.422 5 | 0.531 4 |
| 单不饱和脂肪酸 MUFA | 44.692 0 | 44.954 0 | 45.222 0 | 0.932 5 | 0.936 6 |
| 多不饱和脂肪酸 PUFA | 11.813 0 | 12.268 0 | 11.447 0 | 0.433 3 | 0.692 3 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸 PUFA/SFA | 0.298 7 | 0.291 4 | 0.274 9 | 0.023 3 | 0.932 1 |
| n-6/n-3 | 5.562 6 | 5.821 0 | 5.876 2 | 0.478 4 | 0.951 7 |

## 3 讨 论

### 3.1 绵羊饲粮中梧桐籽油和罗格列酮添加量的确定

CLA 存在于动物的肉制品及奶制品、海产品和植物性食品中，但它的含量和生物活性存在着较大的差异。具有较高生物活性的 CLA 主要来源于反刍动物产品中，且 75%以上的是 *cis*-9,*trans*-11 CLA[5]。由于 CLA 具有抗癌、抗动脉硬化、增强机体免疫力、减缓免疫系统副反应、预防肥胖病、改善肉品质和调节代谢等许多生理功能。所以，目前关于 CLA 的合成、来源以及如何提高动物产品中 CLA 的含量的研究备受关注。在反刍动物组织中 CLA 内源合成的重要底物是 TVA。有研究表明，当反刍动物采食了富含 C18:3 的饲料时，C18:3 进入瘤胃经过生物加氢作用产生中间体 TVA，然后经乳腺等组织中的 SCD 去饱和后形成 CLA，且 78%的 CLA 是由 TVA 经 SCD 的脱氢去饱和作用合成的[6]。因此，本试验在绵羊的基础饲粮基础上添加 4.8%的胡麻籽，就是为了增加内源合成 CLA 的前体物 TVA 的含量。

本试验选用梧桐籽油作为 SCD 的活性抑制剂。本研究表明，梧桐籽油中含有大量不饱和脂肪酸，其中主要包含 22.83%的油酸（C18:1）、27.81%的亚油酸（C18:2）和 23.22%的苹婆酸。研究报道，SCD1 的活性和基因表达会受到饲粮中脂肪酸组成和饱和度的影响，饲粮中的 SFA 含量对组织中 SCD1 的活性具有升高的作用，而 PUFA 则相反，对其活性具有抑制作用[6]。Kay 等[7]曾将富含苹婆酸的苹婆油作为 SCD 的活性抑制剂在奶牛饲养试验中运用，并得到较好的抑制效果。Griinari 等[2]通过给产后 200 d 左右的泌乳奶牛真胃灌注 10 g/d 苹婆油，分析发现奶牛乳脂中的 CLA 主要是由 TVA 通过 SCD 内源合成的。由于苹婆油和梧桐籽油中苹婆酸的含量接近，所以本试验用梧桐籽油代替苹婆油，按绵羊体重计算应真胃灌注 1.5 g/d 的梧桐籽油，由于本试验采用直接饲喂法，考虑到 PUFA 在瘤胃内的氢化可达到 90%左右，因此本试验在绵羊饲粮中添加 15 g/d 富含苹婆酸的梧桐籽油进行饲养试验。本试验选用罗格列酮作为 SCD 的活性促进剂，由于罗格列酮是噻唑烷二酮类胰岛素增敏剂药物，能明显增强靶组织对胰岛素的敏感性，具有抗胰岛素抵抗的作用。胰岛素是 *SCD* 基因转录高效促进剂，该激素对 SCD 的影响已在小鼠、牛、鸡、人的体内和体外试验中得到了证实[8]。有报道指出，给患有 II 型糖尿病患者服用 8 mg/d 罗格列酮后，可以增加 SCD 的活性和基因表达[9]。为了不影响绵羊的健康状况，本试验在绵羊饲粮中添加 8 mg/d 罗格列

酮进行饲养试验。

3.2 饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮对绵羊生产性能的影响

绵羊饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮的研究表明，梧桐籽油和罗格列酮对绵羊的初体重、末体重、平均日增重（ADG）和干物质采食量（DMI）等生产性能指标及屠宰率无显著影响[10]。其中梧桐籽油组与前人的研究结果基本一致。有研究表明，在山羊饲粮中添加豆油或葵花油对 DMI 无显著影响，可能是因为各试验组饲粮的代谢能水平基本相同[11]。赵天章[1]在巴美肉羊饲粮中添加 2.4%的鱼油、葵花油或二者混合油脂，结果显示对巴美肉羊的生产性能指标无显著影响。Ferreira 等[12]在育肥绵羊饲粮中添加鱼油或鱼油与豆油的混合油脂对其 DMI、ADG 和末体重均无显著影响。本课题组育肥绵羊饲粮中添加梧桐籽油虽然对其生产性能各指标的影响不大，但在数值上与 C 组相比，W 组有所提高[10]，有可能是因为梧桐籽油增加了饲料的适口性，使其采食量增加而导致的结果。罗格列酮作为胰岛素增敏剂药物添加在绵羊的饲粮中，对其生产性能指标无显著影响，但降低了饲料报酬，可能是由于罗格列酮降低了绵羊的血清葡萄糖含量，从而导致胰高血糖素分泌增加，进而促进脂肪的分解所致。目前，还未见到在绵羊饲粮中添加罗格列酮的相关报道。

3.3 饲粮中添加梧桐籽油和罗格列酮对绵羊组织中脂肪酸含量的影响

动物脂肪酸组成受品种、屠宰年龄及营养等多种因素的影响，通过饲粮调控可改变动物组织中 PUFA 的含量，尤其是改变 CLA 在动物体组织中的沉积。反刍动物肉和奶及其制品是人类 CLA 的主要来源，在饲粮中添加富含 PUFA 的饲料是提高反刍动物产品中 CLA 含量的一个重要方法。有研究表明，在饲粮中添加富含 PUFA 的油脂饲料来提高反刍动物产品中 CLA 的含量是 2 种机制共同作用的结果：一种是增加了瘤胃内氢化合成 CLA 及组织内源合成 CLA 的底物；另一种是 PUFA 对组织中 *SCD* 基因的表达起到抑制作用，减少了 TVA 向 CLA 的转变，而底物增加效应高于 PUFA 对 *SCD* 基因表达的抑制效应。因此，在反刍动物饲粮中添加 PUFA 的油脂饲料可以使其产品中 CLA 含量升高[3, 13]。本试验通过在绵羊饲粮中添加 SCD 的抑制剂和促进剂来探索 CLA 等功能性脂肪酸在绵羊组织中的内源合成机理具有重要意义。有研究表明，在奶牛饲粮中添加分别富含亚油酸、C18:3 和油酸的葵花油、胡麻油和菜籽油均可以提高其乳脂中 TVA 和 CLA 的含量[14]。在延边黄牛饲粮中补饲整粒亚麻籽和破碎亚麻籽均提高了其背最长肌、皮下脂肪、肌间脂肪中 CLA 的含量[6]。赵天章[1]在巴

美肉羊饲粮中添加葵花油显著提高了组织中 *cis*-9，*trans*-11 CLA 和 *cis*-12，*trans*-10 CLA 的含量。陈雪君[15]在羊饲粮中添加豆油或玉米油都显著增加了 TVA、*cis*-9，*trans*-11 CLA、*cis*-12，*trans*-10 CLA 及 CLA 含量。富含苹婆酸的苹婆油可以提高细胞中 TVA 含量，但使其向 *cis*-9，*trans*-11 CLA 的转化率明显降低[16]。奶牛真胃灌注苹婆油可以抑制 SCD 活性，且使 *cis*-9，*trans*-11 CLA 的含量降低 70%[17]。本试验添加梧桐籽油后对背最长肌中 *trans*-11 C18:1 和 *trans*-9,12 C18:2 的含量显著由于梧桐籽油增加了瘤胃内氢化合成 CLA 及其前体物 TVA 的含量，但由于梧桐籽油中富含的苹婆酸是 SCD 的有效抑制剂，且之前试验结果也提高，对 C18:3(n-6)的含量显著下调，而对其他脂肪酸的含量无显著影响，这可能是显示梧桐籽油可以有效抑制绵羊背肌中 SCD 的活性和基因表达，所以梧桐籽油可以通过降低 TVA 向 CLA 的转化率从而阻断 *cis*-9，*trans*-11 CLA 含量的增加。本试验添加梧桐籽油后对皮下脂肪中 *trans*-11 C18:1、*cis*-9，*trans*-11 CLA 和 *cis*-12，*trans*-10 CLA 没有显著影响，可能是由于不同组织对脂肪酸的沉积不一致，也可能因为添加梧桐籽油后对皮下脂肪中脂肪酸代谢相关酶基因表达没有产生影响（之前试验结果）有关。另外，本试验显示添加梧桐籽油可以显著增加皮下脂肪中 C20:1 的含量。罗格列酮是 SCD 的有效促进剂，可以通过提高 *SCD* 的基因表达使 SFA 生成 MUFA，也可以将 TVA 转化生成 ***cis*-9，*trans*-11 CLA**，所以本试验结果显示添加罗格列酮可以增加绵羊背最长肌中 *trans*-11 C18:1、*trans*-9,12 C18:2、***cis*-9，*trans*-11 CLA**、PUFA 的含量及 PUFA/SFA，并使其 SFA 含量降低；另外，罗格列酮降低了背最长肌中 C18:3(n-6)的含量，增加了皮下脂肪中 C10:0、*cis*-9 C18:1 和 C20:3(n-3)的含量，且在皮下脂肪中没有检测到 *cis*-12，*trans*-10 CLA 的含量。根据以上结果，猜测罗格列酮可能有提高 n-3 PUFA 和降低 n-6 PUFA 的作用，由于没有相关内容的研究，此猜测有待考证。

## 4 结 论

① 饲粮中添加梧桐籽油增加了绵羊背最长肌中 *trans*-11 C18:1、*trans*-9,12 C18:2 的含量，降低了 C18:3(n-6)的含量，增加了皮下脂肪中 C20:1 的含量。

② 饲粮中添加罗格列酮增加了绵羊背最长肌中 *trans*-11 C18:1、*trans*-9,12 C18:2 和 ***cis*-9，*trans*-11 CLA** 的含量，降低了 C18:3(n-6)的含量，增加了皮下脂肪中 C10:0、*cis*-9 C18:1 和 C20:3(n-3)的含量。

参考文献：

[1] 赵天章.日粮油脂类型对羊肉脂肪酸和肌内脂肪含量的影响及其机理[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2014.
[2] GRIINARI J M,CORL B A,LACY S H,et al.Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by Δ9-desaturase[J].The Journal of Nutrition,2000,130(9):2285–2291.
[3] GILLIS M H,DUCKETT S K,SACKMANN J R,et al.Effect of rumen-protected conjugated linoleic acid (CLA) or linoleic acid on leptin and CLA content of bovine adipose depots[J].Journal of Animal Science,2003,81(Suppl.2):12.
[4] MOSLEY E E,MCGUIRE M K,WILLIAMS J E,et al.*Cis*-9,*trans*-11 conjugated linoleic acid is synthesized from vaccenic acid in lactating women[J].Nutrition,2006,136(9):2297–2301.
[5] PARIIZA M W,PARK Y,COOK M E.The biologically active isomers of conjugated linoleic acid[J].Progress in Lipid Research,2001,40(4):283–298.
[6] 陈娜.补饲亚麻籽对延边黄牛肌内共轭脂肪酸构成及其相关基因表达的影响[D].硕士学位论文.延吉:延边大学,2015.
[7] KAY J K,MACKLE T R,AUDIST M J,et al.Endogenous synthesis and enhancement of conjugated linoleic acid in pasture-fed dairy cows[J].Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production,2002,62:12–15.
[8] 张蕊,张宜辉,邵丹,等.硬脂酰辅酶A去饱和酶基因的功能与调控[J].生命科学,2013,25(4):378–382.
[9] RISÉRUS U,TAN G D,FIELDING B A,et al.Rosiglitazone increases indexes of stearoyl-CoA desaturase activity in humans:link to insulin sensitization and the role of dominant-negative mutation in peroxisome proliferator-activated receptor-gamma[J].Diabetes,2005,54(5):1379–1384.
[10] 史晓雪,牛占宇,幸超等.饲粮中添加梧桐子油和罗格列酮对绵羊生产性能、血清激素和生化指标的影响[J].动物营养学报,2017,29(12):4495-4502.
[11] ROY A,MANDAL G P,PATRA A K.Evaluating the performance,carcass traits and conjugated linoleic acid content in muscle and adipose tissues of Black Bengal goats fed

soybean oil and sunflower oil[J].Animal Feed Science and Technology,2013,185(1/2):43–52.

[12] FERREIRA E M,PIRES A V,SUSIN I,et al.Growth,feed intake,carcass characteristics,and meat fatty acid profile of lambs fed soybean oil partially replaced by fish oil blend[J].Animal Feed Science and Technology,2014,187:9–18.

[13] CHILLIARD Y,FERLAY A,DOREAU M.Effect of different types of forages,animal fat or marine oils in cow’s diet on milk fat secretion and composition,especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids[J].Livestock Production Science,2001,70(1/2):31–48.

[14] 刘瑞芳.日粮中添加植物油对奶牛瘤胃发酵和乳脂中共轭亚油酸含量影响的研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.

[15] 陈雪君.日粮添加植物油和 VE 对湖羊肉质调控及机理的研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2008.

[16] SCHNEIDER A C,BEGUIN P,BOUREZ S,et al.Conversion of t11t13 CLA into c9t11 CLA in caco-2 cells and inhibition by Sterculic oil[J].PLoS One,2012,7(3):e32824.

[17] KAY J K,MACKLE T R,AULDIST M J,et al.Endogenous synthesis of *cis*-9,*trans*-11 conjugated linoleic acid in dairy cows fed fresh pasture[J].Journal of Dairy Science,2004,87(2):369–378.

## Effects of Dietary Supplementation of Phoenix Tree Seed Oil and Rosiglitazone on Tissue Composition and Contents of Fatty Acids of Sheep

SHI Xiaoxue[1] NIU Zhanyu[1] XING Chao[1] ZHANG Sanrun[2] YAN Wanshu[1] ZHANG Runhou[1*]

(1. *College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China;* 2. *Department of Basic Education, Inner Mongolia Medical University, Hohhot* 010110, *China*)

Abstract: The objective of this study was to investigate the effects of dietary supplementation of SCD inhibitor (phoenix tree seed oil) and accelerator (rosiglitazone) on fatty acid composition and contents in *Longissimus dorsi* muscle and subcutaneous fat of sheep. Eighteen crossbreed ram

*Corresponding author, professor, E-mail: runhouzhang@hotmail.com （责任编辑 王智航）

(Merino sheep♂×thin-tail *Han* sheep♀), similar in body weight [(27.71±2.64) kg] and body condition, were randomly divided into 3 groups with 6 sheep per group. Sheep in control group (C group) were fed a basal diet+4.8% linseeds; those in phoenix tree seed oil group (W group) were fed the C group diet supplemented with 15 g/d phoenix tree seed oil; those in rosiglitazone group (L group) were fed the C group diet supplemented with 8 mg/d rosiglitazone. The trial period lasted for 50 d consisting 10 d of transition period, 5 d of pretrial period and 35 d of trial period. The results showed as follows: 1) compared with C group, W group had significantly higher contents of *trans*-11 C18:1 and *trans*-9, 12 C18:2 and significantly lower contents of C18:3 (n-6) in *Longissimus dorsi* muscle ($P<0.05$), and had significantly higher C20:1 content in subcutaneous fat ($P<0.05$), while other fatty acid contents were not significantly changed （$P>0.05$）; 2) compared with C group, L group had significantly higher contents of *trans*-11 C18:1, *trans*-9, 12 C18:2, ***cis*-9， *trans*-11** conjugated linoleic acid **(CLA)** and polyunsaturated fatty acid （PUFA） and PUFA/saturated fatty acid （SFA）, and significantly lower C18:3 (n-6) and SFA contents in *Longissimus dorsi* muscle ($P<0.05$), and had significantly higher contents of C10:0, *cis*-9 C18:1 and C20:3 (n-3) in subcutaneous fat ($P<0.05$). The results indicate that dietary supplementation of phoenix tree seed oil increases contents of *trans*-11 C18:1 and *trans*-9, 12 C18:2 and decreased the content of C18:3 (n-6) in *Longissimus dorsi* muscle, and increases the content of C20:1 in subcutaneous fat; dietary supplementation of rosiglitazone increases the content of *trans*-11 C18:1, *trans*-9, 12 C18:2 and ***cis*-9，*trans*-11 CLA** and decreased the content of C18:3 (n-6) in *Longissimus dorsi* muscle, and increases contents of C10:0, *cis*-9 C18:1 and C20:3 (n-3) in subcutaneous fat.

Key words: phoenix tree seed oil; rosiglitazone; stearoyl-CoA desaturase; fatty acid; sheep